

表 9.8 築地市場における午後9時現在における青果物の温度 (1991.7.15) (外気温約25℃)

作物名(生産地)	青果物の温度
ピータコーン(茨城)	18℃
(茨城)	22.0℃～22.5℃
(埼玉)	21.0℃～23.0℃
(群馬)	14.0℃～18.0℃
(栃木)	17.0℃～20.5℃
レタス(長野)	14.5℃～15.0℃
ニラ(茨城)	15.5℃～17.0℃
(栃木)	10.0℃～15.5℃
長ネギ(茨城)	17.5℃～18.0℃
シイタケ(栃木)	11.5℃～17.0℃
キャベツ(群馬)	17.0℃～17.5℃(外部) 15.0℃～15.5℃(内部)
アスパラ(長野)	12.5℃～13.0℃
(発泡スチロール容器)	
ダイコン(北海道)	13.5℃～15.5℃
(ドライアイス入り)	

- (2) 真空冷却後の短時間の保冷は温度の均一化の点では十分効果があった。(図9.2, 図9.3)
- (3) 市場到着時または到着後間もない時期の青果物はほぼ13℃～20℃位にあると観られるが、翌朝の競りまでには完全に常温に戻ると観られる。(表9.7, 表9.8)。輸送方法について
 - (1) 無蓋トラック+保冷シートの輸送方法は夕刻以降の近距離輸送においては十分に保温効果があると観られる。
 - (2) 真空槽内搬入から始まり、積み込み、市場での積みおろしまでの一連の作業におけるパレット単位の移動は労力節減だけでなく、保温の点でも十分効果があった。
 - (3) 輸送車の種類に係わりなく青果物は積み荷の位置により相当温度差が生じると観られる。
 - (4) 輸送時および市場到着後における積み荷の内部と表層の箱内の青果物間には外気の影響から相当に温度差が生じることがわかった。(図9.4, 図9.5)
 - (5) 輸送過程において細かくは箱内、荷全体では輸送車内の空気の流通を最小限にするように工夫すること、すなわち、なるべく高温の外気に触れないように工夫することが青果物の温度戻りを最小限にすることにつながると思われるが、この実証データについては今後検討して行く課題と考える。

- (6) 輸送過程において発泡スチロール容器が使用されるが、顕著な保温効果は観られなかった。この容器は寒剤を併用しない場合保温効果はあまり期待できないと考える。

第10章 結 論

10.1 各施設における問題点とその改善法

現場の実用機における調査において明らかにされた問題点を列挙し、その改善法について述べる。

10.1.1 構成機器の能力

機種Nでは処理量をレタス2.4トン/1回とし、25℃から5℃まで冷却することを目標に設計された。しかし、フラッシュポイント以後のコールドトラップの表面温度の上昇が一般的に大きく、それからの制約を受け、槽内圧力の低下の割には青果物の温度降下が見られない事例が多い。また、先に述べたような基準で設計されているにもかかわらず、この施設では夏期に初期品温25℃以上のスィートコーンを冷却するような場合もあり、冷却効率が低下する事例も見られた。品温はコールドトラップの表面温度以下には冷却されないという測定結果も得られており、コールドトラップの表面温度がこのように上昇すると適切な目標温度まで冷却出来ない。従ってこの様な場合には冷凍機の能力をパワーアップするか、または、コールドトラップ内のブラインの流量を可変にするなどの機械的改善が必要と思われる。また、短期的な冷却能力の不足、例えば例外的に青果物の初期品温が高いときなどには真空槽内の処理重量を減らすことによって処理できる。また、この機種では本引工程後半において余分な能力の真空ポンプ(2台)を稼働しているが、これらを1台に減らし、もう一方の真空槽の粗引に回すなど、構成機器の適正な配置が能率よい連続運転には必要である。機種Hは粗引工程の排気速度が他機種に比べて遅い。また粗引時間の設定がメーカーによって行われる半固定で、ほとんど1年中変更されることがないが、真空ポンプへの水分混入を避けるためには青果物の初期品温の高いときを想定して設定する必要があるため、初期品温が低いときには非常に能率が悪くなる。現在納入されている施設では処理量が少ない故、ことなきを得ているが、この様な機器構成、配置の場合には青果物の初期品温に合わせた自動設定あるいは自動切り替えが必要である。また粗引工程の排気速度も処理量と施設費の観点から真空ポンプの能力についても考慮の必要がある。

10.1.2 制御法

1) 粗引と本引工程の切り替え時期の設定

機種Nは粗引と本引工程の切り替えを槽内圧力の到達圧力で作業員が設定できる。しかし、これらの設定値はほとんど触れることがなく、シーズン当初の点検時にメーカーが設定したままのことが多い。ところが、これらの設定値が低い圧力に設定されておりながら、青果物の初期品温が高いときには、フラッシュポイントに達しても急激な温度降下が観られず、両工程の切り替えが行われた時点で急激な温度降下が観られることがあり、青果物の実質的冷却はこの時点から始まるので能率が悪い。このように先の機種Hと併せて、これらの両機種については適正な時期に両工程の切り替えが行われることが能率の面で要求されるが、この操作を作業員が行うことが困難な状況にある以上は、自動的にこれらの適正な切り替えが行えることが必要である。

2) 最終到達圧力の設定

これは全ての機種についての問題である。真空冷却プロセスの進行速度が遅く、準定常状態に於ける現象と見なせる場合には青果物は最終到達圧力に対する飽和温度まで冷却されるはずであるが、一般的には青果物の温度とこれの間には相当の差が観られた。特に春期の青果物の初期品温の低い時期に最終到達圧力が高い値に設定されると、全く冷却されない事例が多くみられた。しかし、真空冷却の原理からして、僅かながら真空槽内壁からの熱放射の影響は考えられるものの、青果物の最終目標温度が年間を通して一定ならば、ほとんど変更の必要はないはずである。しかし、この問題については後述する槽内圧力では精度のよい調節が不可能とした点とも併せて考慮する問題である。

3) 真空冷却装置の制御因子

真空冷却装置の制御因子として槽内圧力が用いられている。これは先にも述べたように真空冷却プロセスが準定常状態において行われると仮定すれば、槽内圧力によってその青果物の冷却温度は決定されるという根拠に基づくものと思われるが、実際真空冷却プロセスは圧力変化の速い非定常現象である。また、例え準定常状態が実現されたとしても現在の実用機の圧力設定目盛り、指示計の精度では正確な温度制御は不可能である。例えば圧力計が分解能 1Torr であるとする、最終目標温度付近では飽和温度に換算すると 2～2.5℃ 位になり、それ以上の精度の設定は不可能である。この様なことからして槽内圧力は制御因子として好ましくないと言える。

10.1.3 運転操作法

1) 真空槽内の処理量の相違による問題点

栃木県の施設では1日の処理量がそれほど多くないので真空槽内が満杯にならず運転されることが多い。しかし、先にも述べたように処理量が過少なときにはフラッシュポイント以降の圧力降下および青果物の温度降下が遅い。そして急激な温度降下が始まると一つ青果物内でも冷え易い部位の温度降下が非常に速いため冷却され難い部分とは冷却むらが大きくなる。このようなことから処理量の少ないときには適宜、仕上げ工程を長くするなどの調整により冷却むらを少なくするような努力が必要であると思われる。

2) 冷却特性の異なる2種以上の青果物を共に冷却する場合

多種の青果物が同時期に生産・出荷される場合には必然的に出荷順に真空槽内に搬入されるため、青果物は混入されて冷却される。しかし、レタス、ハウレンソウなどのように冷却速度が速く、比較的均一に冷却される品目とブロッコリやネギのような冷却むらの生じ易く、非常に冷え難い部位が生じる品目を一緒に冷却するとき、レタス、ハウレンソウは単品で冷却するときよりも冷却時間が長くなる。また、ブロッコリ、ネギはレタスだけの時間よりも長く冷却しても、なお冷却むらなどの点からは充分でない。これら両者共、単品でそれらの適正な冷却法で行えることが理想であると思われるが、その実現は困難である。これらの解決法として品目による集荷時間の調整なども考えられるが、農家および輸送トラックのタイムスケジュールにも関連するため、これらの協力が得られないと不可能である。従って、処理量などを含め、何を優先するかによってその方法は決定されるため能率および効率は無視せざるを得ない場合もある。

3) 発泡スチロール箱を使用するときの問題点

総和町農協ではブロッコリを発泡スチロール箱に入れて真空冷却した。この場合約 6Torr まではそれほど圧力降下に遅れは観られなかったが、その後非常に遅くなるため、他の青果物と同じように最終圧力を設定すると、冷却時間は大変長くなる。しかし、この場合、設定圧力より少し高い圧力で仕上工程を通常より長く行っているのと同様になり、青果物はかなり低い温度まで冷却された。従ってこのような事例では最終圧力の設定を通常より高くする必要がある。また、輸送時において1箱だけで高温環境に放置する場合を除いてダンボール箱と比較して発泡スチロール箱の保温効果は著しく優れるものではなく、むしろ一旦温度上昇が始まると呼吸量の増加も手伝って、温度上昇は加速的に上昇すると考えられる。従って、発泡スチロール箱は寒剤の併行使用がなければ、その保温効果は余り期待できない。

10.2 青果物の冷却特性

レタス、シイタケ、ハウレンソウ、サニーレタス、スイートコーン、キャベツ、グリーンボール、ハクサイ、ネギ、ブロッコリなどの約10品目の冷却特性を調査した。これらの品目の多くは熱画像の導入によって冷却状況が明らかになった。これらの結果も含めて青果物の冷却特性について述べる。これらに並べたレタス以下の4品目については非常に良く冷却される品目であり、冷却むらも少なく、その冷却特性もレタスの茎部、サニーレタスの基部がやや冷却され難いが、フラッシュポイント以降はほとんど湿球温度に等しく、その冷却指針として湿球温度そのものが使用できる。しかし、シイタケは最も冷却され易いが、また温度戻りも非常に速いため、真空冷却以後のハンドリングに注意が必要である。スイートコーンは種実が他部位に比べて冷却され難く、真空破壊時には温度むらが大きい、湿球温度と同じくらいまで冷却される包葉の温度戻りが大きいことと種実への熱伝達が速いことなどから冷却終了時にはほとんど温度むらが解消するため温度むらに対する考慮は必要ないが、湿球温度で制御するときには、ある程度の仕上時間が必要である。キャベツ以下ハクサイまでは葉部の巻具合、縮り具合によってその冷却特性は大変異なる。巻具合の緩いものほど冷却むらは少なくなる。キャベツ、グリーンボールは葉の巻具合の堅いものは内部に入るほど水蒸気の抜けが悪いため冷却され難く高い温度を示し、また、茎部に近い下部ほど葉が厚くなるため冷却され難い。その傾向はキャベツの方が大きい。これらの産物が表面からの熱伝導で冷却されるのでないことは熱画像による温度分布の測定結果がそれぞれ葉の巻具合と一致することからも推定できる。またハクサイは葉の上部から軸方向に水分が抜け、下部の肉厚の部分からはあまり水分蒸発がない。従って巻き具合の堅いハクサイの下部は冷却されにくく、仕上げ時間を長くとっても蒸発潜熱による冷却は期待できない。茎部の切口の浅い部分は比較的他の品目同様冷却され易いと思われる。ブロッコリ、長ネギは花蕾、緑色部は大変良く冷えるのに対し、茎部の中間や白色の根元部は余り冷却されないため真空冷却終了時には温度むらが大きい。しかし、これらは真空冷却後、保冷库のような低温室に置くことによって比較的低温部の温度上昇が少ない状態で均一化が可能である。いずれにしても、これらの品目は低温部の温度をできるだけ下げておく方が全体の温度を低く維持することにもつながる。従ってこれらの冷却時間は事情許せば、仕上げ工程を含めてレタスの2倍程度の冷却が必要ではないと思われる。

10.3 粗引と本引工程の切り替え時期の自動設定

先に粗引と本引工程の自動的切り替えの必要性を述べた。湿球温度の真空冷却中の特性を調べ、湿球温度の測定接点を水壺外2cm以上離れた位置にセッティングすることにより、フラッシュポイント時に湿球温度が急上昇することを確実にし、これを現場の数機種の実用機によって確かめた。これらの結果から湿球温度の上昇点をフラッシュポイントの検出に利用して、粗引、本引両工程の自動切り替えを実現することを提案した。

10.4 輸送試験

青果物は遠距離輸送を除くとまだ冷凍車によるものは少ない。また、何れの輸送方法においても輸送車内の積み込み位置の影響が大きかった。すなわち、冷風、温風問わず積荷の表面はこの影響を受け易い。従って冷凍車以外はなるべく周囲温度の影響を受けないように工夫する必要がある。このためには出来るだけ迅速な積み込み、または空間を少なくする。また箱内は密に詰め込むなどの方法が考えられる。この点で岩井市農協施設のように全てパレット単位で運搬するような方法は積み替えがなく、短時間で作業が終了するので運送者の労力低減だけでなく、周囲の外気に触れる機会が少なく、産物の温度上昇を抑える点からも効果的であり、保冷シートと併せて大変効果があったと思われる。また寒剤を使用しない場合は発泡スチロールの保温効果はあまりないと観られた。

10.5 今後に残された課題

これまでに述べたように本論文は現在稼働中の真空冷却施設の設計・制御・操作の現状を実態調査と室内実験により把握してそれらの問題点を明かにすると共に今後の改善策を考察し、提言した。しかし、排気速度と青果物の生理的な面および損傷に与える影響、すなわち排気速度と品質評価については全く考慮していない。しかし、これらの影響が全くないという文献は見あたらず、この点についての実証データが必要と考える。また、輸送過程における青果物の温度変化も今回の追跡調査をもとに外気条件を考慮したシミュレーションにより最適な輸送方法を見いだす必要がある。8章の水蒸気蒸発量と排気促進効果に関する定性的、および理論的考察が測定項目の不足から出来なかったので実験装置の充実を計り、この点を明らかにして行くことなど、ここに上げた点を今後の課題と考えている。